

Тимофеев Александр Андреевич, студент магистратуры 2 курс,

кафедра Электрические станции, НИУ «МЭИ»

Россия, г. Москва

Кощева Анна Григорьевна, студентка магистратуры 2 курс,

кафедра Электрические станции, НИУ «МЭИ»

Россия, г. Москва

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКОВ ГАЗОТУРБИННЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Аннотация: Рассмотрены существующие методы оценки надежности генерирующих установок. Выбран и обоснован метод, который будет использоваться для расчета надежности генерирующих установок теплоэлектростанций. Определен показатель оценки надежности генерирующих установок. Разработаны модели надежности типовых схем газотурбинной установки и парогазовой установки: газотурбинная установка мощностью 240 МВт, парогазовой установка моноблочного типа мощностью 230 МВт, парогазовая установка моноблочного типа мощностью 230 МВт со сбросом выходных газов газотурбинной установки в энергетический котел. Проведено исследование надежности схем энергоблоков с учетом как электрической, так и технологической части. Получены результаты показателей надежности указанных схем и обоснована необходимость учета технологической части энергоблоков при расчетах надежности.

Ключевые слова: надежность, газотурбинная установка, парогазовая установка, SAIDI.

Annotation: Existing methods for assessing the reliability of generating installations are considered. The method that will be used to calculate the reliability of

generating installations of combined heat and power plants has been selected and justified. The indicator for assessing the reliability of generating installations has been determined. Reliability models have been developed for typical schemes of a gas turbine plant and a combined cycle plant: a gas turbine plant with a capacity of 240 MW, a monoblock type combined cycle plant with a capacity of 230 MW, a monoblock type combined cycle plant with a capacity of 230 MW with discharge of gas turbine plant exhaust gases into a power boiler. A study of the reliability of the schemes of power units was carried out, taking into account both the electrical and technological parts. The results of the reliability indicators of these schemes are obtained and the necessity of taking into account the technological part of power units in the reliability calculations is substantiated.

Keywords: reliability, gas turbine plant, combined cycle plant, SAIDI.

В 2007–2015 годах в «Мосэнерго» были введены современные парогазовые энергоблоки. В общей сложности на электростанциях «Мосэнерго» построено семь современных парогазовых энергоблоков мощностью порядка 2,9 ГВт – это более 22% от общей установленной мощности компании [1].

Рост числа ПГУ и ГТУ на электрических станциях, приводит к необходимости расчета и оценки их надежности. Особенностью данных расчетов является необходимость учета надежности, как электрической, так и технологической части. При этом в настоящее время отсутствуют методики, позволяющие проводить расчеты надежности при учете технологической части современных блоков ГТУ и ПГУ. Дальнейшая модернизация и реконструкция существующих генерирующих установок обуславливают необходимость проведения подобного анализа.

Существующие методы оценки надежности генерирующих установок.

В данной статье расчет надежности генерирующих установок ТЭЦ производился таблично-логическим методом [2]. Таблично-логический метод позволяет производить поочередное рассмотрение отказов элементов схем с выявлением их последствий в нормальном и ремонтном режимах. Построение

таблицы событий и состояния организует целенаправленный перебор отказов и неработоспособных состояний элементов схемы.

Согласно [3] ремонты, в зависимости от планирования, следует подразделять на плановые, неплановые и аварийные.

Неплановый ремонт не предусматривается годовым (месячным) графиком ремонта. Аварийные ремонты должны проводиться в случаях устранения последствий аварии на оборудовании для восстановления его работоспособности. Перспективное и годовое планирование ремонта парогазовых и газотурбинных установок определяется в соответствии с регламентами ремонта, установленными поставщиками (изготовителями) [3]. В связи с этим параметризация расчетной модели для ГТУ и ПГУ проводилась на основе [4; 5].

В качестве критерия оценки надежности применялись эквивалентные продолжительности отключения (SAIDI) [6] разных генерирующих установок, как наиболее существенный параметр, характеризующий убытки генерирующих компаний от недополученной прибыли на оптовом рынке электроэнергии.

В ходе расчета эквивалентной продолжительности отключений генерирующих установок были рассмотрены следующие типовые схемы:

- схема ГТУ мощностью 240 МВт (рис.1);
- схема ПГУ-ТЭЦ моноблочного типа мощностью 230 МВт (ГТ-160+Т-60/70) (рис.2);
- схема ПГУ-ТЭЦ моноблочного типа мощностью 230 МВт со сбросом выходных газов ГТУ в энергетический котел (ГТУ-65+КУ+ПТ-160) (рис.3).

Расчет эквивалентной продолжительности отключений ГТУ типовой схемы выдачи мощности ТЭЦ.

В ходе расчета была рассмотрена типовая схема ГТУ мощностью 240 МВт вместе с технологической частью. Так как схема ГТУ является последовательной, то отказ или ремонт одного из элементов приведет к неработоспособности (отказу) данной генерирующей установки.

Согласно [3], вид ремонта энергоблока должен определяться наибольшим

объем ремонтных работ, входящей в состав установки, которая определяет продолжительность ремонта энергоблока. В типовой схеме ГТУ наибольшее время планового ремонта занимает турбогенератор. Одновременный плановый ремонт последовательно соединенных элементов, всегда является экономически оправданным [2]. $T_{пл} = 780$ ч/год. Коэффициент надежности SAIDI ГТУ составляет 1021 ч/год.

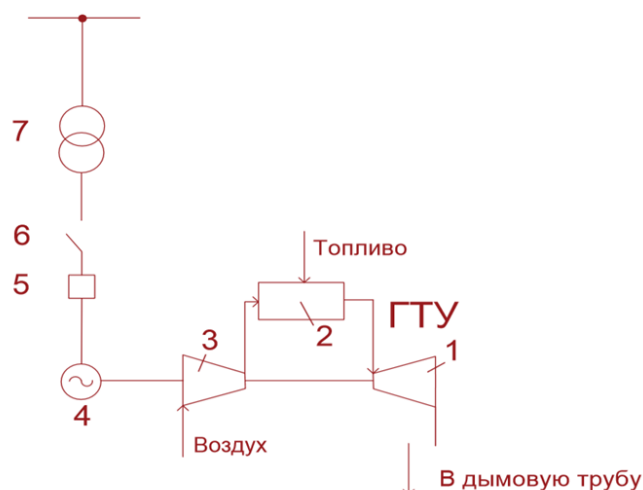


Рисунок 1. Расчетная схема для оценки надежности ГТУ:

- 1- газовая турбина; 2 - камера сгорания; 3 - компрессор; 4 - генератор;
5 - выключатель; 6 - разъединитель; 7 - трансформатор

Расчет эквивалентной продолжительности отключений ПГУ-ТЭЦ моноблочного типа мощностью 230 МВт (ГТ-160+Т-60/70) типовой схемы выдачи мощности ТЭЦ.

В ходе расчета также была рассмотрена типовая схема ПГУ-ТЭЦ моноблочного типа мощностью 230 МВт (ГТ-160+Т-60/70) вместе с технологической частью. Данная ПГУ является утилизационной. Расчетная схема ПГУ представляет собой смешанную схема соединения. В исследовании данная схема была разбита на две составляющие части:

- Часть I – ГТУ, генератор, трансформатор, выключатель и отделитель (красный);
- Часть II – котлоагрегат, турбогенератор, выключатель,

трансформатор, отделитель и вспомогательное оборудование (синий).

В типовой схеме ПГУ-ТЭЦ наибольшее время планового ремонта занимает турбогенератор $T_{пл} = 780$ ч/год.

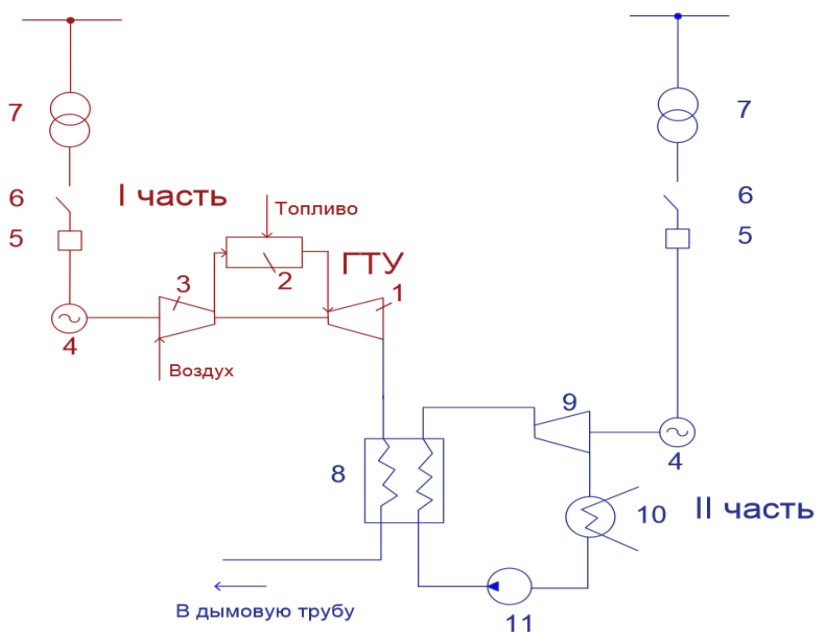


Рисунок 2. Расчетная схема для оценки надежности ПГУ-ТЭЦ (моноблок):

- 1- газовая турбина; 2 - камера сгорания; 3 - компрессор; 4 - генератор; 5 - выключатель;
- 6 - разъединитель; 7 - трансформатор; 8 - котлоагрегат; 9 - паровая турбина;
- 10 – конденсатор; 11- насосы

На основе такого разделения были рассмотрены все возможные варианты неработоспособного состояния элементов типовой схемы ПГУ. Далее производится расчет продолжительности отключения каждого возможного случая в отдельности, после чего мы суммируем все полученные значения и получаем среднюю продолжительность отключения ПГУ, которая составляет 1500 ч/год. SAIDI энергоблока больше, чем у ГТУ индивидуального использования на 38 %. Основное снижение надежности данной схемы происходит из-за второй части, эквивалентная продолжительность восстановления которой составляет 85 % от общего времени.

Расчет эквивалентной продолжительности отключения ПГУ-ТЭЦ моноблочного типа мощностью 230 МВт со сбросом выходных газов ГТУ в энергетический котел (ГТУ-65+КУ+ПТ-160) типовой схемы выдачи

мощности ТЭЦ.

В ходе расчета также была рассмотрена типовая схема ПГУ-ТЭЦ моноблочного типа (ГТУ-65+КУ+ПТ-160). Данная ПГУ сбрасывает выходные газы ГТУ в энергетический котел. Доля мощности паротурбинного цикла составляет примерно $2/3$, а доля мощности ГТУ - $1/3$ (в отличие от утилизационной ПГУ, где это соотношение обратное) [8]. Ориентировочно можно считать, что в сравнении с обычным паротурбинным циклом экономия топлива при использовании сбросной ПГУ примерно вдвое меньше, чем экономия топлива в утилизационной ПГУ [7]. Поэтому КПД сбросной ПГУ находится в диапазоне от 40 до 45%, т.е. существенно меньше утилизационной ПГУ [8]. ПГУ сбросного типа имеют высокие маневренные характеристики. Запуск ПГУ начинается с пуска ГТУ. На первом этапе выхлопные газы могут сбрасываться помимо котла. Затем проводят мероприятия по пуску паровой турбины. Общее время запуска и выход на необходимую мощность лимитируется прогревом парового котла и зависит от параметров пара. В котлоагрегате происходит дополнительное сжигание природного газа для получения пара сверхкритических номинальных параметров.

Данная ПГУ имеет возможность работать двумя составами оборудования: ГТУ + КУ + ПТ и КУ + ПТ. В исследовании данная схема была разбита на три составляющие части:

- Часть I – ГТУ, генератор, трансформатор, выключатель и отделитель (красный);
- Часть II – турбогенератор, выключатель, трансформатор, отделитель и вспомогательное оборудование (синий);
- Часть III – котлоагрегат (оранжевый).

На основе такого разделения были рассмотрены все возможные варианты неработоспособного состояния элементов типовой схемы ПГУ.

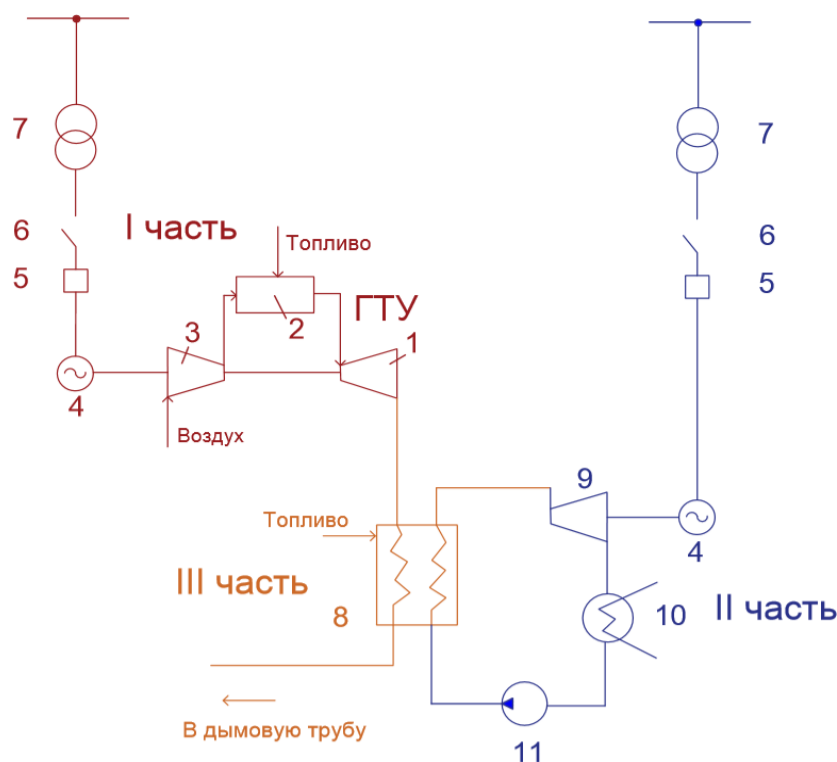


Рисунок 3. Расчетная схема для оценки надежности сбросной ПГУ-ТЭЦ:

1- газовая турбина; 2 - камера сгорания; 3 - газовая турбина; 4 - генератор; 5 – выключатель, 6 - разъединитель; 7 - трансформатор; 8 - котлоагрегат; 9 - паровая турбина; 10 – конденсатор; 11- насосы

В типовой схеме ПГУ-ТЭЦ сбросного типа наибольшее время планового ремонта занимает котел-утилизатор $T_{пл} = 789$ ч/год.

Средняя продолжительность отключения ПГУ-ТЭЦ составляет 1768 ч/год. SAIDI ПГУ сбросного типа на 18 % больше, чем у ПГУ-ТЭЦ утилизационного типа, при этом продолжительность отключения сбросной ПГУ больше, чем у ГТУ индивидуального использования на 38 %. Основное снижение надежности данной схемы происходит из-за второй и третьей части, в которую входят котел-утилизатор, турбогенератор, выключатель, трансформатор и вспомогательное оборудование, но в то же время при ремонте или неработоспособности первой части схемы, генерирующая компания сможет вырабатывать $2/3$ номинальной мощности блока рассматриваемой схемы сбросной ПГУ-ТЭЦ.

Выводы:

1. Разработаны модели надежности и проведено расчётно-

теоретическое исследование надежности типовых схем ГТУ, ПГУ-ТЭЦ (моноблок) и ПГУ «сбросного типа»;

2. С точки зрения надежности применение ПГУ и ГТУ, в целом, более предпочтительно перед блоками ПГУ «сбросного типа», для них наблюдается превышение показателя SAIDI по сравнению с ПГУ и ГТУ на 18% и 38 %.

3. Учет технологической части приводит к существенному снижению надёжности, что выражается в повышении показателя SAIDI. Для рассмотренных типов энергоблоков превышение показателя SAIDI находится в диапазоне от 11,9 до 48%.

4. Учет технологической части при проведении проектных расчетов надежности позволит обеспечить наиболее жесткие условия при проектировании, в частности, при выборе схем выдачи мощности ТЭЦ.

Библиографический список:

1. ПАО «Мосэнерго» [Электронный ресурс]. URL: <https://mosenergo.gazprom.ru/about/present/new-building/projects/> (дата обращения: 06.04.2022).

2. Трубицын В.И. Надежность электростанций: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 240 с.

3. Приказ Минэнерго России (Министерства энергетики РФ) от 25 октября 2017 г. №1013 "Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок "правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики".

4. Непомнящий В.А. Надежность оборудования энергосистем. – М.: издательство журнал «Электроэнергия. Передача и распределение», 2013. - 196 с.

5. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608

с.

6. IEEE Standard 1366-1998, "IEEE trial-use guide for electric power distribution reliability indices", April 1999.

7. Малков Е.С. Совершенствование режимов работы и схемы ПГУ-КЭС с применением камеры сжигания дополнительного топлива для теплофикации дис. канд. техн. наук: 05.14.14. - ИГЭУ, Иваново, 2014 - 142 с.

8. Жуков В.В. Электрическая часть электростанций с газотурбинным и парогазовыми установками: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 519 с.